

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАШЕНИЯ ВИБРАЦИИ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО МОЛОТКА ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ ФОРМ ДИАГРАММ ДАВЛЕНИЙ

А. В. ТРИХАНОВ, В. И. БАБУРОВ, В. Ф. ГОРБУНОВ

(Представлена кафедрой горных машин и рудничного транспорта)

Одним из главных источников вибрации пневматических молотков является действие переменного давления воздуха на стенки корпуса. Для уменьшения размаха колебаний корпуса Б. В. Суднишниковым было предложено изменять форму диаграмм давления [1, 2]. Это предложение было реализовано некоторыми исследователями.

Испытания созданных машин показали, что снижение амплитуды вибрации корпуса молотка достигается в 1,2—5 раз [3—5]. В наших работах [6—8] показано, что в зависимости от величины усилия нажатия на корпус молотка, кроме внутренней возмущающей силы, воздействующей и другие, например, силы соударения с буртиком инструмента, силы удара бойка по корпусу и т. д. В связи с этим эффект виброгашения машины путем изменения форм диаграмм давлений определяется также и режимом работы молотка.

В настоящей работе приведены результаты выявления количественных возможностей уменьшения вибрации молотков типа КЕ путем изменения форм диаграмм давлений над и под ударником. Исследования проводились для давления воздуха в сети 5 *ати* и различных усилий нажатия при работе по стали. Исследуемая машина (молоток КЕ-22) располагалась горизонтально. Для решения поставленной задачи нами было выбрано пять разновидностей диаграмм рабочих циклов (рис. 1). Первый цикл представляет собой обычный цикл молотка КЕ-22. Четвертый цикл назван оптимальным, так как по данным [2, 7] машина, работающая по этому циклу, будет иметь наименьшую амплитуду вибрации. Промежуточное положение между указанными циклами занимают второй, третий и пятый циклы (рис. 1), реализованные различными исследователями [3—5].

Исследование проведено на электронной моделирующей установке типа ИПТ-5, что позволило избежать трудоемких работ по проектированию, изготовлению и испытанию опытных образцов молотков. Кроме того, моделирование позволяет получить вибрационные характеристики молотков как с учетом обратных ударов инструмента по корпусу молотка, так и без них. В последнем случае эффект гашения вибрации за счет изменения форм диаграмм давления может быть выявлен, так сказать, в чистом виде, что невозможно получить на опытных образцах молотков.

При исследовании указанных пяти циклов основные параметры молотка, соответствующие молотку КЕ-22, сохранились неизменными. На рис. 1 приведены индикаторные диаграммы циклов и пути ударника для случая, когда обратные удары инструмента отсутствуют и корпус находится в постоянном контакте с буртиком инструмента.

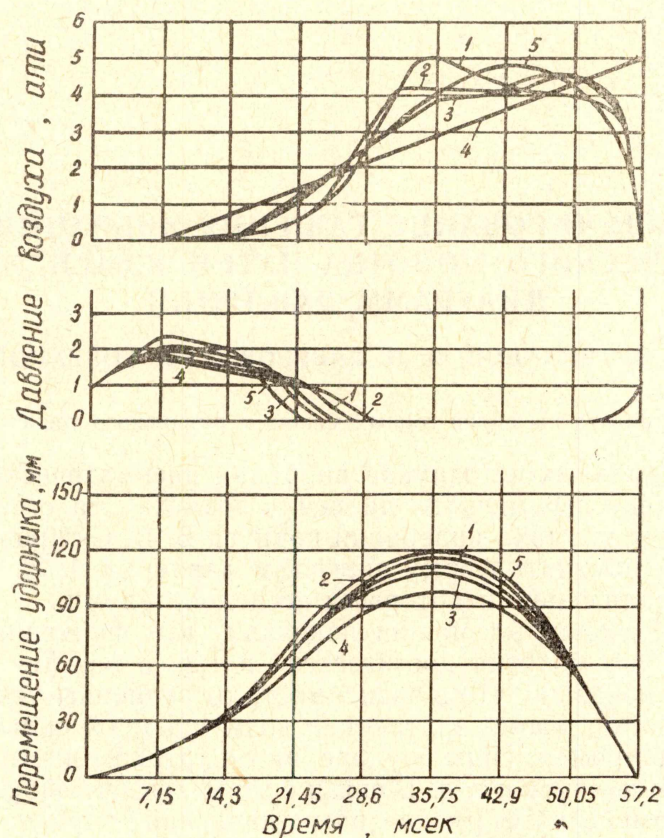


Рис. 1. Диаграммы давлений воздуха в полостях молотка и перемещения ударника: 1 — обычный цикл; 2 — второй цикл; 3 — третий цикл; 4 — «оптимальный» цикл; 5 — пятый цикл

Технические данные молотка и характеристики циклов приведены в табл. 1 и 2.

Из таблиц видно, что расчетные и полученные на электронной модели значения не отличаются более чем на 11%. Эти значения близки к техническим показателям молотка КЕ-22. Имеют место значительные расхождения только для усилия нажатия. Значения усилия нажатия реального молотка КЕ-22 на 4 кг выше соответствующих значений, полученных на электронной модели [5].

Моделированием получены зависимости амплитуды вибрации корпуса молотка от усилия нажатия при различных формах диаграмм давлений как при наличии обратных ударов инструмента по корпусу (рис. 2), так и без них (рис. 3).

Рассмотрим случай, когда имеют место обратные удары инструмента по корпусу (рис. 2). Характер изменения амплитуды вибрации корпуса от усилия нажатия одинаков для всех форм. При минимальных усилиях нажатия корпус имеет наибольшую амплитуду вибрации. В плавающем режиме амплитуда вибрации корпуса снижается до некоторого значения и снова увеличивается в предельно основном режиме.

Таблица 1

Наименование показателей	Значения показателей		Отклонение данных моделирования от расчетных, %
	расчетное	на модели	
Скорость удара ударника, м/сек . . . . .	9,9	9,3	6
Коэффициент отскока ударника . . . . .	0,35	0,35	0
Импульс силы от давления сжатого воздуха, действующего на ударник:			
а) при рабочем ходе со стороны задней полости, кг сек . . . . .	0,572	—	—
б) при рабочем ходе со стороны передней полости, кг сек . . . . .	0,020	—	—
в) при холостом ходе со стороны передней полости, кг сек . . . . .	0,315	—	—
г) при холостом ходе со стороны задней полости, кг сек . . . . .	0,248	—	—
Энергия удара, кгм . . . . .	2,72	2,42	11
Частота ударов, уд/мин . . . . .	1050	1170	11
Отношение длительности обратного и прямого ходов ударника . . . . .	1,73	1,55	11

Затем с увеличением усилия нажатия происходит резкое уменьшение амплитуды, после чего она вновь, несмотря на повышение усилия нажатия, возрастает и затем уже постепенно снижается. Следовательно, зависимость между амплитудой вибрации и усилием нажатия (амплитудно-силовая зависимость) имеет два максимума. Это явление впервые было обнаружено нами и объяснено в работах [6, 7].

Во время электронного моделирования были получены осциллограммы движения корпуса  $x_k$  и инструмента  $x_i$  для всех пяти циклов. Эти осциллограммы подтверждают данные авторами объяснения второго максимума амплитудно-силовой характеристики.

Таблица 2

Наименование цикла	Расположение центров тяжести, м/сек		
Обычный цикл . . . . .	5,77	11,30	11,7
Второй цикл . . . . .	6,00	10,90	12,25
Третий цикл . . . . .	7,50	10,80	10,9
„Оптимальный“ цикл . . . . .	9,8	9,45	11,0
Пятый цикл . . . . .	6,9	11,50	9,85

Приведенные на рис. 4 осциллограммы для одного из циклов хорошо иллюстрируют этот максимум.

При усилиях нажатия более 30 кг амплитудно-силовая зависимость для всех форм отличается в пределах погрешностей электронного моделирования (как в качественном, так и количественном отношении). Это объясняется тем, что внутренняя возмущающая сила, действующая

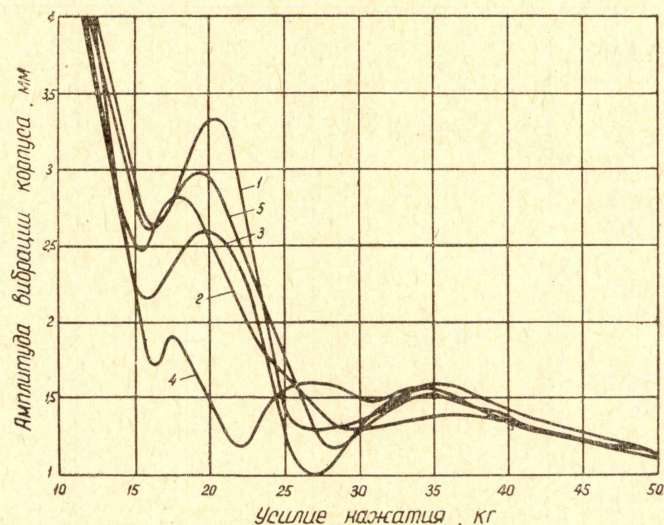


Рис. 2. Амплитудно-силовые зависимости молотка при наличии обратных ударов: 1 — обычный цикл; 2 — второй цикл; 3 — третий цикл; 4 — «оптимальный» цикл; 5 — пятый цикл

на корпус, равна или меньше усилия нажатия, прилагаемого к рукоятке молотка.

Влияние обратных ударов в данном случае одно и то же, так как скорость ударника перед ударом обеспечивается постоянной. Ударное взаимодействие инструмента, обрабатываемой породы и корпуса, естественно, также не меняется.

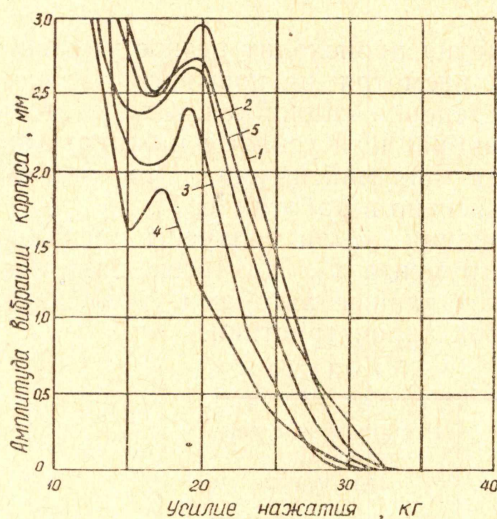


Рис. 3. Амплитудно-силовые зависимости молотка при отсутствии обратных ударов: 1 — обычный цикл; 2 — второй цикл; 3 — третий цикл; 4 — «оптимальный» цикл; 5 — пятый цикл

Особенность имеется только для «оптимального» цикла. Для него второй минимум оказался сдвинутым влево, т. е. при меньшем усилии нажатия. Сдвиг влево второго минимума для этой зависимости следует объяснять слабым влиянием внутренней возмущающей силы. Влияние обратных ударов уже начинает преобладать после 22 кг, тогда как для других форм — после 27—29 кг.

Из рассмотренного можно сделать вывод, что при усилиях нажатия больших 25 кг влияние формы не существенно. В предельно основном режиме обычный цикл дает амплитуду вибрации 3,3 мм, пятый — 3,0 мм, второй — 2,8 мм, третий — 2,6 мм и оптимальный цикл — 1,9 мм.

Это значит, что в предельно основном режиме по сравнению с обычным циклом пятый цикл гасит амплитуду вибрации в 1,1 раза, второй — в 1,2 раза, третий — в 1,3 раза, «оптимальный» — в 1,7 раза.

В зависимости от формы индикаторной диаграммы изменяется усилие нажатия  $R_n$ , обеспечивающее предельно основной режим. Так, для обычного цикла  $R_n = 21$  кг, для второго — 19 кг, для третьего — 18 кг, для «оптимального» — 17 кг. Это объясняется тем, что с уменьшением амплитуды вибрации уменьшается скорость корпуса в момент посадки его на буртик инструмента [1, 3, 5, 7]. Эта скорость входит в выражение для определения усилия нажатия предельно основного режима, которое приводится в работах [5, 7].

В «плавающем» режиме амплитуда вибрации для обычного цикла равна 2,72 мм, для пятого — 2,65 мм, для второго — 2,48 мм, для третьего — 2,16 мм и для «оптимального» цикла — 1,76 мм.

Это значит, что по сравнению с обычным циклом в «плавающем» режиме пятый цикл создает амплитуду вибрации в 1,02 раза; второй

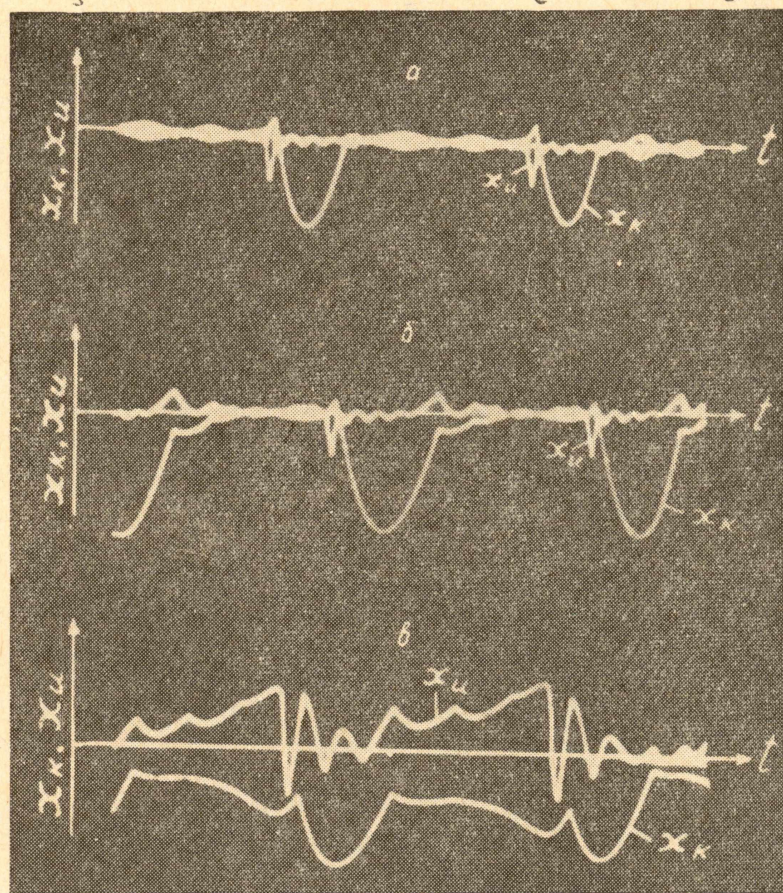


Рис. 4. Диаграммы колебаний корпуса пневматического молотка и инструмента при усилиях нажатия на рукоятку:  
а) 50 кг; б) 35 кг, в) 27,5 кг

цикл — в 1,1 раза; третий цикл — в 1,26 раза и «оптимальный цикл» — в 1,54 раза меньше. Усилие нажатия, обеспечивающее «плавающий» режим, для всех форм равно 16 кг.

Это подтверждает выводы, сделанные в работе [5], где говорится о том, что форма диаграмм давлений не влияет на величину усилия нажатия, обеспечивающего «плавающий» режим работы молотка.

Сравнение эффективности гашения вибрации корпуса в «плавающем» и в предельно основном режимах говорит о том, что в предельно основном этот эффект несколько больше. А вообще он тем меньше, чем меньше усилие нажатия, начиная от основного режима.

В самом деле при  $R_n = 12$  кг почти все зависимости уже практически сливаются.

Это должно иметь место, видимо, и в случае, когда нет обратных ударов инструмента по корпусу. Амплитудно-силовые характеристики и в данном случае независимо от форм индикаторных диаграмм имеют одинаковый характер изменения (рис. 3). Они подобны характеристикам для случая, когда имеются обратные удары инструмента по корпусу (рис. 2). Отличие сводится в основном к тому, что при усилиях нажатия, превышающих 30—33 кг, вибрация корпуса отсутствует.

При усилиях нажатия, превышающих усилия нажатия, обеспечивающие предельно основной режим, существенно влияние формы индикаторной диаграммы на амплитуду вибрации. Возьмем усилие нажатия, равное 20 кг. При обычном цикле амплитуда вибрации равна 3,07 мм, при пятом — 2,84 мм, при втором — 2,76 мм; при третьем — 2,20 мм и при «оптимальном» цикле — 1,25 мм.

Это значит, что по сравнению с обычным циклом пятый цикл обеспечивает гашение вибрации в 1,08 раза, второй — в 1,11 раза, третий — в 1,4 раза и «оптимальный» цикл — в 2,5 раза.

При усилие нажатия 25 кг по сравнению с обычным циклом пятый цикл обеспечивает гашение вибрации в 1,2 раза, третий — в 2,45 раза и «оптимальный» цикл — в 3,8 раза.

Такое влияние формы индикаторных диаграмм на амплитуду вибрации корпуса при рассмотренных усилиях нажатия не наблюдается для случая, когда инструмент подвижен. Это объясняется тем, что в этих режимах уже начинает сказываться влияние обратных ударов инструмента на корпус, что и снижает эффект гашения вибрации за счет изменения формы.

### Выводы

1. Изменение формы индикаторных диаграмм пневматического молотка при сохранении основных его параметров влияет на амплитудно-силовую характеристику молотка. Влияние формы наиболее существенно для предельно основных режимов работы при отсутствии обратных ударов. Амплитуда вибрации снижается до 3,8 раза. При усилиях нажатия, больших 30—35 кг, вибрация отсутствует, если нет обратных ударов инструмента по корпусу.

2. При наличии обратных ударов инструмента по корпусу изменение цикла почти не приводит к изменению амплитудно-силовой характеристики для основных режимов работы молотка.

3. В любом случае в предельно основном режиме возможно снизить вибрацию корпуса молотка в 1,7 раза, в «плавающем» в — 1,5 раза.

4. Чем меньше усилие нажатия, начиная от предельного режима, тем меньше эффект гашения.

5. Усилие нажатия, обеспечивающее «плавающий» режим, при изменении цикла не меняется.

6. Усилие нажатия, обеспечивающее предельно основной режим, уменьшается для последовательности циклов: обычный, пятый цикл, второй цикл, третий цикл, «оптимальный» цикл.

7. Наибольшую вибрацию дает обычный цикл, наименьшую — «оптимальный» цикл, поэтому в пневматическом молотке следует реализовать цикл, близкий к «оптимальному», и снизить влияние обратных ударов инструмента по корпусу.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Б. В. Суднишников. Некоторые вопросы теории машин ударного действия, Изд. ЗСФАН СССР, Новосибирск, 1949.
  2. Б. В. Суднишников. Влияние параметров прямого хода на мощность и отдачу пневматического молотка. Сб. Ударно-вращательное бурение, Новосибирск, 1956.
  3. Н. А. Клушин. Пневматические молотки с новым циклом, снижающим отдачу. Канд. диссерт. Новосибирск, 1958.
  4. А. А. Гоппен. Снижение вибраций легких клепальных молотков. Машиностроитель, 8, 1963.
  5. А. М. Петреев. К теории рабочего цикла пневматических машин ударного действия. Сб. Математические методы в горном деле (материалы конференции), ч. I. Новосибирск, 1963.
  6. В. Ф. Горбунов, В. И. Бабуров, Л. С. Редутинский, А. В. Триханов, Г. Г. Пестов. Исследование вибрации ручного пневматического молотка при работе по различным материалам. Статья в данном сборнике.
  7. В. Ф. Горбунов, В. И. Бабуров. О динамике сил, действующих на корпус пневматического молотка. Статья в данном сборнике.
  8. В. И. Бабуров, В. Ф. Горбунов, А. В. Триханов. Причины вибрации ручных пневматических молотков и способы борьбы с ней. Статья в данном сборнике.
  9. Б. В. Суднишников. Теорема о перемещении массы за время действия силы. Механизация горных работ. ЗСФАН СССР, вып. 8, 1950.
-